

① MAT-3462
-058

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3803336 A1

⑯ Aktenzeichen: P 38 03 336.4
⑯ Anmeldetag: 4. 2. 88
⑯ Offenlegungstag: 17. 8. 89

⑯ Int. Cl. 4:
H01L 21/66
H 01 L 21/324
H 01 L 21/477
// G01K 11/00

Deutsche Patent- und
Markenamt

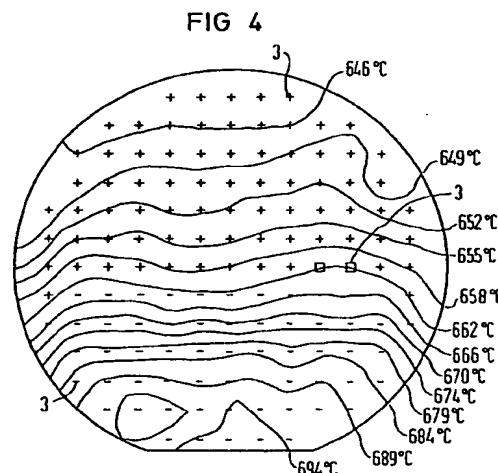
⑯ Anmelder:
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

⑯ Erfinder:
Kakoschke, Ronald, Dr.rer.nat., 8000 München, DE
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:
NL-Z: Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research, B6, 1985, S. 316- 320;

⑯ Verfahren zur Temperaturkontrolle von Temperprozessen in der Halbleitertechnik

Verfahren zur Temperaturkontrolle von Temperprozessen
in der Halbleitertechnik.

Das Verfahren sieht vor, die Temperatur von in einer Temperanlage untergebrachten Halbleiterscheiben unter Verwendung einer Testscheibe (1) mittels einer Meßeinrichtung zu bestimmen. Dazu wird auf der zu verwendenden Testscheibe (1) vor ihrem Einsatz eine auf die Temperaturinflüsse empfindlich ansprechende Oberflächenschicht (2) erzeugt, die Testscheibe (1) dem zu kontrollierenden Temperprozeß ausgesetzt und anschließend eine Messung des Reflexionsvermögens für elektromagnetische Strahlung festgelegter Oberflächenbereiche (3) der Testscheibe durchgeführt. Aus der Änderung des Reflexionsvermögens bei gleichzeitiger periodischer Erwärmung der festgelegten Oberflächenbereiche (3) der Testscheibe (1) wird mittels einer Eichkurve (5) die Temperatur ermittelt, die die Oberflächenbereiche (3) beim Temperprozeß erfahren haben. Die temperaturempfindliche Oberflächenschicht (2) der Testscheibe (1) kann zum Beispiel aus mit Ionenimplantationen versehenem Halbleitermaterial oder polykristallinem Halbleitermaterial erzeugt werden.



DE 3803336 A1

DE 3803336 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturkontrolle von Temperprozessen in der Halbleitertechnik, bei denen die Temperatur von in einer Temperieranlage untergebrachten Halbleiterscheiben unter Verwendung einer Testscheibe mittels einer Meßeinrichtung gemessen wird, wobei die Meßeinrichtung eine physikalische Veränderung der Testscheibe erfaßt.

Bei der Herstellung von elektronischen Bauelementen auf Halbleiterscheiben werden, zum Beispiel beim Ausheilen von implantierten Schichten oder zur Erzeugung von Oxidschichten, Temperprozesse eingesetzt, die eine genaue Temperaturkontrolle erfordern. Dabei muß die Temperatur im gesamten Bereich einer Halbleiterscheibe möglichst konstant sein und die Reproduzierbarkeit der Temperatureinstellung der Temperieranlage muß gewährleistet sein.

Beim Einsatz von Temperöfen ist es allgemein üblich, die Temperatur und die Temperaturhomogenität mittels einer Reihe von Thermoelementen zu kontrollieren. Ein genaues Ausmessen von Temperaturgradienten ist damit allerdings schwer möglich und die Messungen sind relativ zeitaufwendig.

Kurzzeittemperanlagen, mit denen genaue Temperatur-Zeit-Profile ausgeführt werden können, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Da das Aufheizen der Halbleiterscheiben in Kurzzeittemperanlagen durch Einkoppln von elektromagnetischer Strahlung oder durch Bestrahlung mit Elektronenstrahlen erfolgt, kann jeweils nur eine Halbleiterscheibe in einer Kurzzeittemperanlage getempert werden. Zur Temperaturkontrolle werden Pyrometer eingesetzt, die während eines Temperprozesses die Temperatur an einer Stelle der Halbleiterscheibe erfassen und daher keinen Aufschluß auf die Temperaturverteilung im Gesamtbereich der Oberfläche der Halbleiterscheiben geben. Da in den Kurzzeittemperanlagen jeweils nur eine Halbleiterscheibe behandelt werden kann, ist es besonders wichtig, die Reproduzierbarkeit der Temperatureinstellung zu überprüfen.

In Semiconductor International, Mai 1985, Seite 79 bis Seite 84 sind Kurzzeittemperanlagen (Rapid Thermal Processing (RTP)- Systems) beschrieben und der Einsatz von Pyrometern zur Temperaturkontrolle genannt.

Aus Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B21 (1987) Seiten 618 bis 621 ist bekannt, zur Bestimmung der Temperatur und der Temperaturverteilung beim Tempern einer Halbleiterscheibe in einer Kurzzeittemperanlage für Ausheilprozesse (Rapid Thermal Annealing) den Schichtwiderstand einer auf einer Testhalbleiterscheibe aufgebrachten Wolframsilizidschicht als temperaturabhängige Meßgröße zu verwenden.

Darüber hinaus wird in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B21 (1987) Seiten 612 bis 617 von J. C. Gelpey noch das Aufwachsen eines Oxids auf eine Testhalbleiterscheibe zur Temperaturcharakterisierung angewendet, wobei die Schichtdicke des aufgewachsenen Oxids als Maß für die Prozeßtemperatur dient.

Diese beiden Verfahren sind entweder auf die Messung der Temperatur in einem engen Temperaturbereich beschränkt oder relativ ungenau.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Temperaturkontrolle von Temperprozessen anzugeben, das es erlaubt, mittels eines schnellen Meßverfahrens Temperaturschwankungen im Bereich der Oberfläche

che einer Halbleiterscheibe sehr genau zu erfassen. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß

- 5 a) auf der zu verwendenden Testscheibe vor ihrem Einsatz eine auf die Temperatureinflüsse empfindlich ansprechende Oberflächenschicht erzeugt wird,
- 10 b) nachdem die Testscheibe den zu kontrollierenden Temperprozeß erfahren hat, festgelegten Oberflächenbereichen der Testscheiben periodisch Energie zugeführt wird, wodurch eine geringfügige Erwärmung oder eine Änderung der Elektronenlochdichte verursacht wird, und gleichzeitig deren mit der periodischen Energiezufuhr sich ändernden Reflexionsvermögen für elektromagnetische Strahlung gemessen wird und
- 15 c) mittels einer Eichkurve aus der relativen Änderung des Reflexionsvermögens die Temperatur ermittelt wird, die die festgelegten Oberflächenbereiche beim Temperprozeß erfahren haben.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Aus einer Veröffentlichung von W. L. Smith in Solid State Technology, Januar 1986, Seiten 85 bis 92, ist zwar ein Verfahren bekannt, mit dem die Änderung des Reflexionsvermögens einer Halbleiterscheibe bei periodischer Erwärmung bestimmt werden kann. Dabei werden auch durch modulierte Laserstrahlung Wärmewellen an der Oberfläche der Halbleiterscheiben erzeugt, die eine reversible Änderung des Reflexionsvermögens bewirken. Als Teststrahl wird ein Laserstrahl verwendet. Das Verfahren dient jedoch dazu, die Ionenkonzentration implantiert Halbleiterschichten zu bestimmen. Meßgeräte, die nach diesem Verfahren arbeiten, werden zum Beispiel von der Firma Therma-Wave Inc, Fremont, California, USA, angeboten.

Nachfolgend wird das Verfahren anhand von Ausführungsbeispielen mit Fig. 1 bis 6 weiter erläutert. Dabei zeigen in schematischer Darstellung

Fig. 1 die Herstellung einer Testscheibe mit ionenimplantiertem Oberflächenschicht,

Fig. 2 die Testscheibe vor ihrem Einsatz,

Fig. 3 Temperatur-Zeit-Kurve eines mit einer RTP-Anlage durchgeführten Temperprozesses,

Fig. 4 die Verteilung der Temperaturmeßwerte über die Testscheibe als kartographische Darstellung,

Fig. 5 Eichkurven für die Temperaturbestimmung für Testscheiben mit anhand von Fig. 1 beschriebenen Eigenschaften,

Fig. 6 Eichkurven für die Temperaturbestimmung für Testscheiben, die eine bestimmte Oberflächenschicht aus Polysilizium aufweisen.

Fig. 1: Als Testscheibe 1 eignet sich zur Temperaturkontrolle eines Temperaturbereiches von ca. 500 bis 900°C eine Siliziumscheibe, die durch Ionenimplantationen von Arsen-Ionen eine für diesen Temperaturbereich empfindliche Oberflächenschicht 2 erhält. Die Implantationsdosis beträgt 1×10^{16} Ionen pro cm^2 , die Implantationsenergie 80 keV.

Fig. 2: Die Testscheibe 1 weist nach der Ionenimplantation eine arsenhaltige Oberflächenschicht 2 auf.

Fig. 3: Für die Darstellung der Temperatur-Zeit-Kurve sind die an der RTP-Anlage eingestellten Parameter verwendet. Dabei ist eine Kurzzeittemperanlage eingesetzt, die die zu erwärmenden Objekte durch Bestrahlung mit Licht aufheizt. Solche RTP-Anlagen werden

insbesondere zum Anheizen implantierter Schichten eingesetzt (Rapid Optical Annealing). Die RTP-Anlage weist eine automatische Temperaturregelung auf, wobei die Temperatur durch Regelung der Intensität der Lichtquelle anhand von Meßwerten eines Pyrometers erfolgt. Zur Kontrolle des Temperprozesses wird die Testscheibe 1 in der RTP-Anlage bei 650°C in einer stickstoffhaltigen Atmosphäre 20 Sekunden lang getempert. Die Aufheizrate beträgt 120°C pro Sekunde, die Abkühlrate 50°C pro Sekunde.

Fig. 4: Nachdem die Testscheibe 1 den Temperprozeß erfahren hat erfolgt die Messung der Änderung des Reflexionsvermögens mittels eines Meßgerätes (nicht dargestellt), das die durch einen intensitätsmodulierten Argon-Ionen-Laser erzeugte Änderung des Reflexionsvermögens für Laserstrahlung eines Helium-Neon-Probenlasers mißt. Dazu wird ein Meßgerät der Firma Therma-Wave verwendet. Die Messung erfolgt an 137 gleichmäßig über die Halbleiterscheibe 1 verteilte Punkten 3, woraus mittels einer Eichkurve (siehe Fig. 5, 20 Bezugsszeichen 5) Linien 4 gleicher Temperatur errechnet werden. Dabei sind die errechneten Temperaturwerte relative Werte, die der absoluten Temperatur aber sehr nahe kommen. Für die Messung kann anstelle eines intensitätsmodulierten Argon-Ionen-Lasers jede 25 Form einer zeitlich sich ändernden Energiezufuhr dienen, zum Beispiel inkohärentes Licht, Wärmezufuhr über Wärmekontakt, Elektronenstrahl, Ionenstrahl oder andere Laser.

Fig. 5: Die Eichkurve mit dem Bezugsszeichen 5 ist mit 30 identischen Testscheiben, die die Eigenschaften der Testscheibe 1 aufweisen, aufgenommen und gilt für einen Temperprozeß mit einer Temperzeit von 20 Sekunden für die oben beschriebene RTP-Anlage. Die Eichkurve 6 ist für Temperprozesse erstellt, die eine Temperzeit von 5 Sekunden aufweisen und gilt ebenfalls für identische Testscheiben, die die Eigenschaften der Testscheibe 1 aufweisen und für die oben beschriebene RTP-Anlage. Zur Erstellung der Eichkurve sind die Aufheiz- und Abkühlraten der RTP-Anlage vernachlässigbar, da die physikalischen Vorgänge in der Oberflächenschicht der Testscheibe in erster Linie von der Höhe der maximalen Temperatur und der Haltezeit bei Maximaltemperatur beeinflußt werden. Die relative Änderung des Reflexionsvermögens R/R ist in relativen Einheiten 40 angegeben. Die Reproduzierbarkeit der Messung der Reflexionsänderung beträgt ca. 1 Prozent, woraus eine Reproduzierbarkeit der Temperaturmessung im Bereich zwischen 600°C und 800°C von ca. $\pm 1^\circ\text{C}$ folgt. Temperaturänderungen über eine Halbleiterscheibe 45 können in diesem Bereich auf ca. $\pm 0,2^\circ\text{C}$ bestimmt werden. Die Eichkurven 5 und 6 belegen, daß der Temperaturbereich, für den die Messung geeignet ist, durch Variation der Temperzeit der Testscheibe festgelegt werden kann.

Fig. 6: Für den Temperaturbereich von ca. 900°C bis 55 1200°C kann zur Temperaturkontrolle eine Siliziumscheibe mit einer 250 nm dicken Oberflächenschicht aus Polysilizium erfolgen. Die Eichkurve gilt für einen Temperprozeß in der oben beschriebenen RTP-Anlage mit einer Temperzeit von 10 Sekunden.

Für die Herstellung von Testscheiben eignen sich insbesondere Halbleiterscheiben mit temperaturempfindlicher Oberflächenschicht aus Halbleitermaterial, da in der Halbleitertechnologie genügend ausgereifte Verfahren zur Verfügung stehen, mit denen nahezu identische Testscheiben reproduzierbar hergestellt werden können. Zur Herstellung implantierter Oberflächen-

schichten eignen sich alle Elemente, die eine Störung des Halbleitergitters der Testscheibe bewirken. Hierbei wird unter Implantationen jede Art von Teilchenbeschuß der Halbleiterscheibe verstanden. Die Schichtdicken der temperaturempfindlichen Oberflächenschichten der Testscheiben sind nicht wesentlich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturkontrolle von Temperprozessen in der Halbleitertechnik, bei denen die Temperatur von in einer Temperanlage untergebrachten Halbleiterscheiben unter Verwendung einer Testscheibe mittels einer Meßeinrichtung gemessen wird, wobei die Meßeinrichtung eine physikalische Veränderung der Testscheibe erfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) auf der zu verwendenden Testscheibe (1) vor ihrem Einsatz eine auf die Temperatureinflüsse empfindlich ansprechende Oberflächenschicht (2) erzeugt wird,
- b) nachdem die Testscheibe (1) den zu kontrollierenden Temperprozeß erfahren hat, festgelegten Oberflächenbereichen (3) der Testscheiben periodisch Energie zugeführt wird, wodurch eine geringfügige Erwärmung oder eine Änderung der Elektron-Lochdichte verursacht wird, und gleichzeitig deren mit der periodischen Energiezufuhr sich ändernden Reflexionsvermögen für elektromagnetische Strahlung gemessen wird und
- c) mittels einer Eichkurve (5) aus der relativen Änderung des Reflexionsvermögens die Temperatur ermittelt wird, die die festgelegten Oberflächenbereiche (3) beim Temperprozeß erfahren haben.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Testscheibe (1) aus Halbleitermaterial, insbesondere Silizium, verwendet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Testscheibe (1) eine mit Implantationen versehene Oberflächenschicht (2) aus Halbleitermaterial erzeugt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Testscheibe (1) eine Oberflächenschicht (2) aus polykristallinem Halbleitermaterial, insbesondere aus Polysilizium, erzeugt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die periodische Erwärmung der festgelegten Oberflächenbereiche (3) der Testscheibe (1) durch modulierte elektromagnetische Strahlung, insbesondere Laserstrahlung, erfolgt.

— Leerseite —

3803336

1/2

FIG 1

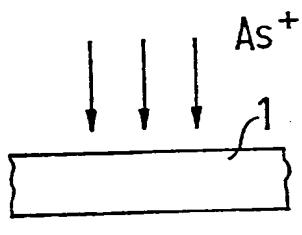


FIG 2

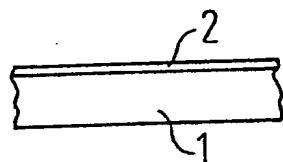


FIG 3

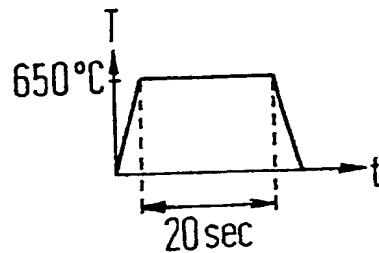
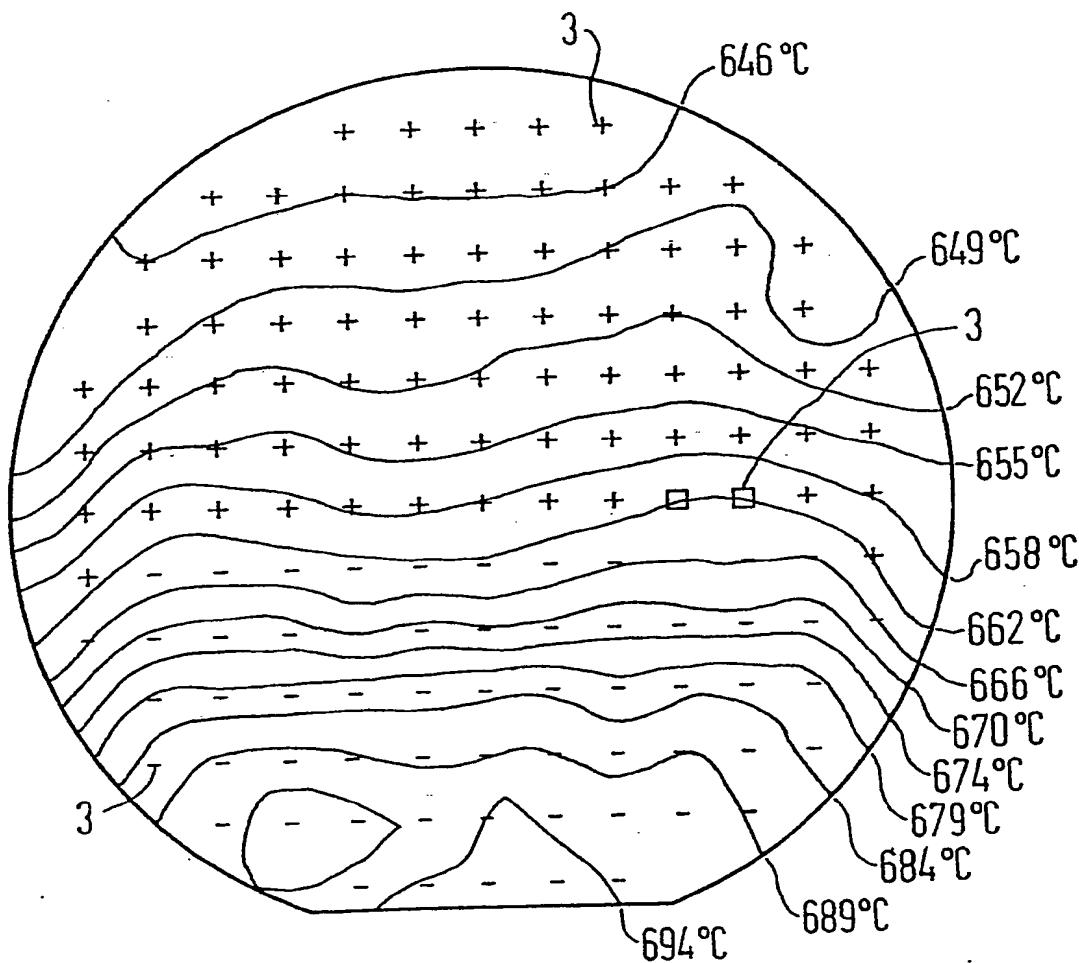


FIG 4



2/2

3803336

10*

FIG 5

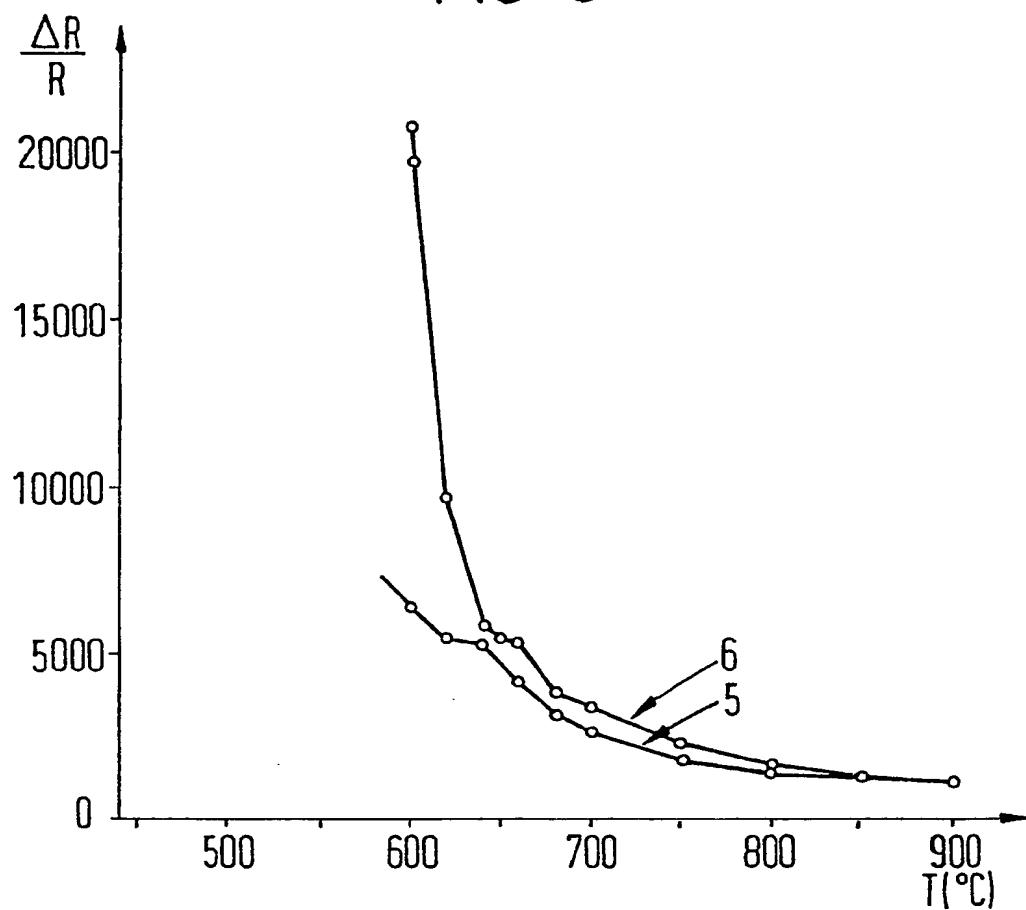


FIG 6

